



## Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web

Mohamed Djouani, Stéphane Caro Dambreville, Jean-Michel Boucheix

### ► To cite this version:

Mohamed Djouani, Stéphane Caro Dambreville, Jean-Michel Boucheix. Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées (RIHM) = Journal of Human Mediated Interactions*, 2014, 15 (1), pp.21. hal-01089195v2

**HAL Id: hal-01089195**

**<https://hal.science/hal-01089195v2>**

Submitted on 14 Aug 2015

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web

Mohamed Djouani, Stéphane Caro Dambreville, - Jean-Michel BOUCHEIX

### ► To cite this version:

Mohamed Djouani, Stéphane Caro Dambreville, - Jean-Michel BOUCHEIX. Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées, Europa*, 2014, 15 (1), pp.21. <<http://europa.org/RIHM/V15N1.htm>>. <hal-01089195v1>

**HAL Id: hal-01089195**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01089195v1>**

Submitted on 1 Dec 2014 (v1), last revised 27 Jan 2015 (v2)

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Revue des Interactions Humaines Médiatisées

Journal of Human Mediated Interactions

## Rédacteurs en chef

Sylvie Leleu-Merviel & Khaldoun Zreik

Vol 15 - N° 1 / 2014



© Europa, 2014

15, avenue de Ségur,

75007 Paris - France

Tel (Fr) 01 45 51 26 07 - (Int.) 33 1 45 51 26 07

<http://europa.org/RIHM>

[rihm@europa.org](mailto:rihm@europa.org)

# Revue des Interactions Humaines Médiatisées

*Journal of Human Mediated Interactions*

## Rédacteurs en chef / *Editors in chief*

- Sylvie Leleu-Merviel, Université de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, Laboratoire DeVisu
- Khaldoun Zreik, Université Paris 8, Laboratoire Paragraphe

## Comité éditorial / *Editorial Board*

- Thierry Baccino (Université Paris8, LUTIN - UMS-CNRS 2809, France)
- Karine Berthelot-Guiet (CELSA- Paris-Sorbonne GRIPIC, France)
- Pierre Boulanger (University of Alberta, Advanced Man-Machine Interface Laboratory, Canada)
- Jean-Jacques Boutaud (Université de Dijon, CIMEOS, France )
- Aline Chevalier (Université Paris Ouest Nanterre La Défense, CLLE-LTC, France)
- Yves Chevalier (Université de Bretagne Sud, CERSIC -ERELLIF, France)
- Didier Courbet (Université de la Méditerranée Aix-Marseille II, Mediasic, France)
- Viviane Couzinet (Université de Toulouse3, LERASS, France)
- Milad Doueïhi (Université de Laval - Chaire de recherche en Cultures numériques, Canada)
- Pierre Fastrez (Université Catholique de Louvain, GReMS, Belgique)
- Pascal Francq (Université Catholique de Louvain, ISU, Belgique)
- Bertrand Gervais (UQAM, Centre de Recherche sur le texte et l'imaginaire, Canada)
- Yves Jeanneret (CELSA- Paris-Sorbonne GRIPIC, France)
- Patrizia Laudati (Université de Valenciennes, DeVisu, France)
- Catherine Loneux (Université de Rennes, CERSIC -ERELLIF, France)
- Marion G. Müller (Jacobs University Bremen, PIAV, Allemagne)
- Marcel O'Gormann (University of Waterloo, Critical Média Lab, Canada)
- Serge Proulx (UQAM, LabCMO, Canada)
- Jean-Marc Robert (Ecole Polytechnique de Montréal, Canada)
- Imad Saleh (Université Paris 8, CITU-Paragraphe, France)
- André Tricot (Université de Toulouse 2, CLLE - Lab. Travail & Cognition, France)
- Jean Vanderdonckt (Université Catholique de Louvain, LSM, Blgique)
- Alain Trognon (Université Nancy2, Laboratoire InterPsy, France)

# Revue des Interactions Humaines Médiatisées

Journal of Human Mediated Interactions

Vol 15 - N° 1 / 2014

## Sommaire

### Editorial

Sylvie LELEU-MERVIEL, Khaldoun ZREIK (Rédacteurs en chef) 1

### Rituels télévisuels et connexions métropolitaines dans la Cosmopolis luxembourgeoise

*Television rituals and metropolitan ties in the Cosmopolis of Luxembourg*

Christian LAMOUR, Nathalie LORENTZ 3

### Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web

*A navigation system that improves information retrieval on the web*

Mohamed DJOUANI, Stéphane CARO DAMBREVILLE, Jean-Michel BOUCHEIX 21

### Interactions tactiles sur tablettes pour l'apprentissage de la géométrie dans l'espace : présentation et premières évaluations

*Tactile interactions on tablets for learning geometry in space: presentation and first assessments*

Robin VIVIAN, David BERTOLO, Jérôme DINET 51

### Analyse simondienne de l'otakisme et du robotisme japonais

*Simondian analysis of Japanese otakism and robotism*

Nicolas OLIVERI 91

## Editorial

R.I.H.M., *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, aime à croiser les regards pluri-disciplinaires, tout en restant centrée sur la science de l'information-communication. Elle est du reste qualifiante dans cette discipline, puisqu'elle figure sur la liste AERES-CNU de 71<sup>ème</sup> section. Nous avons indiqué au dernier numéro qu'elle gagnait en sélectivité, arrivant aujourd'hui à un taux de sélectivité d'environ 50%. Son rayonnement s'internationalise également. Comme la précédente, la présente parution s'ouvre ainsi sur un article luxembourgeois.

En effet, le premier article porte sur les routines de consommation audiovisuelle dans le Grand-Duché. Dans ce contexte où plusieurs communautés nationales coexistent, l'article examine si l'outil télévisuel est mobilisé par l'individu pour s'ouvrir à la diversité et la complexité communautaire de son espace de vie, ou au contraire s'il ravive un lien national dissous dans la Cosmopolis luxembourgeoise.

Le deuxième article présente les effets d'un dispositif technique dont le but est de faciliter la navigation dans les documents numériques. L'expérimentation, conduite avec 59 participants, compare les effets produits dans trois conditions expérimentales d'un site d'agence immobilière spécialement conçu pour l'étude. La méthode de l'enregistrement des mouvements oculaires (Eye-Tracking) est employée en vue d'obtenir des indicateurs destinés à mieux comprendre les stratégies d'exploration visuelle et d'autre part, de donner une indication précise sur les ressources cognitives investies durant la tâche.

Le troisième article envisage les interactions tactiles sur tablettes pour l'apprentissage de la géométrie dans l'espace. Il présente la problématique, analyse les besoins correspondants et montre le manque de solutions existantes avant de proposer un prototype avancé de logiciel et les premières évaluations effectuées auprès d'un public cible (enfants de 9 à 11 ans) et d'utilisateurs tout venant.

Enfin, le dernier article s'appuie sur un phénomène culturellement identifié, l'*otakisme* japonais, mais également sur le *robotisme* qui en découle, pour proposer une autre lecture de la relation ambiguë entre culture et technique, généralement située au carrefour d'un angélisme technophile béat ou d'une diabolisation technophobe réductrice. L'enjeu est de parvenir à réinsuffler au centre du discours sur la technique toute une dimension humaine et sociale, nichée au cœur de la culture technique.

Nous vous souhaitons à toutes et à tous une très bonne lecture et nous vous remercions de votre fidélité.

Sylvie **LELEU-MERVIEL** et Khaldoun **ZREIK**  
Rédacteurs en chef

# Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web

*A navigation system that improves information retrieval on the web*

**Mohamed DJOUANI (1), Stéphane CARO DAMBREVILLE (2), Jean-Michel BOUCHEIX (3)**

(1) Laboratoire CIMEOS EA 4177 – équipe 3S  
[mohameddjouani@hotmail.fr](mailto:mohameddjouani@hotmail.fr)

(2) Laboratoire MICA EA4426, Médiation Information, Communication, Art  
[stephane.caro@u-bordeaux-montaigne.fr](mailto:stephane.caro@u-bordeaux-montaigne.fr)

(3) Laboratoire d'Etude de l'Apprentissage et du Développement LEAD-CNRS  
UMR 5022, Université de Bourgogne  
[jean-michel.boucheix@u-bourgogne.fr](mailto:jean-michel.boucheix@u-bourgogne.fr)

**Résumé.** Il est parfois difficile pour un utilisateur de trouver une information, de se déplacer ou se repérer sur le web. Au cours de sa recherche, celui-ci doit gérer une activité de navigation en sélectionnant des liens qui vont le conduire d'une page web à une autre ou d'un site web à un autre. Retrouver le parcours effectué, dont on se souvient, est plus difficile du fait du caractère éphémère des pages. La recherche d'information sur un site web ou d'une page se fait selon une stratégie appelée « essai-erreur ». L'utilisateur ouvre une page web pour s'apercevoir que l'information recherchée ne correspond pas à son besoin. Il ferme ainsi la page puis décide d'en ouvrir une autre. A la différence d'une recherche via un moteur de recherche (outil de recherche d'information automatique permettant de formuler une requête avec des mots clés, ex : Google), la recherche en « texte plein » (l'utilisateur survole visuellement les textes) rentre en contradiction avec nos capacités cognitives. Cet article présente les effets d'un dispositif technique dont le but est de faciliter la navigation dans les documents numériques. Il s'agit de vérifier l'efficacité cognitive de ce système permettant à des utilisateurs de remédier, entre autres, aux problèmes de désorientation et de surcharge cognitive qu'engendre la navigation lorsqu'elle se caractérise selon une stratégie « essai-erreur ». L'hypothèse défendue est que ce dispositif qui permet une exploration visuelle des données (vue d'ensemble, zoom filtrage, détail à la demande), devrait entraîner des effets bénéfiques en diminuant le temps de recherche et en allégeant la charge cognitive en mémoire de travail. Nous l'avons testé en comparant les effets produits dans trois conditions expérimentales d'un site d'agence immobilière spécialement conçu pour l'étude. La première « normale » présente les caractéristiques classiques de recherche, page par page. La seconde « plan » permet de pré-visualiser les pages choisies et de ne sélectionner que les pages pertinentes. La dernière « inter » permet de faire apparaître la page d'intérêt en texte plein sans possibilité de prévisualisation. L'expérience centrée sur l'inspection visuelle de ce site web a été conduite avec 59

participants. Nous utilisons principalement la méthode de l'enregistrement des mouvements oculaires (Eye-Tracking) en vue d'obtenir des indicateurs destinés à mieux comprendre les stratégies d'exploration visuelle et d'autre part, de donner une indication précise sur les ressources cognitives investies durant la tâche. Les résultats obtenus confirment les effets bénéfiques de ce dispositif de prévisualisation au cours d'une tâche de recherche d'information.

**Mots-clés.** Recherche d'information, documents numériques, dispositif de prévisualisation, oculométrie, charge cognitive.

**Abstract.** It is sometimes difficult for a user to find information, move or locate on the web. During his research, he must manage browsing activity by selecting links that will lead to a web page to another or from a website to another. Find the distance traveled is remembered, is more difficult because of the ephemeral nature of pages. The information on a website or search page is using a strategy called "test – error." The user opens a web page to see that the information sought is not need. It closes the page and then decides to open another. Unlike a search via a search engine (search tool automatic information to formulate a query with keywords eg Google), research in « full text » (user overview visual texts) comes into contradiction with our cognitive abilities. This article presents the effects of a technical device whose purpose is to facilitate navigation in digital documents. This is to verify the effectiveness of the cognitive system allowing users address among others, the problems of disorientation and cognitive overload engendered when the navigation is characterized by a « trial and error " strategy. The hypothesis put forward is that this device which allows ( overview , zoom, filter, details on demand) visual data mining, should result in beneficial effects by reducing search time and reducing cognitive load memory job. We tested by comparing the effects in three experimental conditions of a real estate agency website designed specifically for the study. The first "normal" shows the classic features search page by page. The second "plan" allows you to preview selected pages and select only relevant pages. The last "inter" can bring up the page of interest in plain text without the possibility of preview. The experiment centered on visual inspection of this website has been conducted with 59 users. We mainly use the method of recording eye movements (Eye - Tracking) in order to obtain indicators to better understand the visual exploration strategies and secondly, to give a precise indication of cognitive resources invested in the task. The results confirm the beneficial effects of this preview device during job search information.

**Keywords.** Information retrieval, digital documents, previewing device, eye tracking, cognitive load.

## 1 Introduction

### 1.1 Contexte

« Imaginez-vous en train de chercher les horaires d'ouverture de votre préfecture. Vous parcourez la page d'accueil du site de la préfecture, recherchez dans les colonnes et en pied de page... Vous explorez avec votre souris le menu principal. Les intitulés ne sont pas explicites, vous cliquez sur plusieurs pages... Vous tombez par hasard sur la page qui semble correspondre à votre requête. Vous lisez un long pavé de texte... sans succès, votre réponse ne s'y trouve pas. En bas de page, vous découvrez un petit menu avec l'intitulé que vous recherchez. Vous cliquez et tombez sur une page sur laquelle est écrit : *pour télécharger les horaires*



*d'ouverture, cliquez ici*». Vous avez finalement parcouru plusieurs pages et fait plusieurs clics inutiles pour trouver une information essentielle. Probablement même que bon nombre de visiteurs qui se rendent sur ce site, cherchent eux-aussi en vain les horaires d'ouverture avec le même résultat à l'arrivée... Rechercher des informations sur le web peut parfois poser de réels problèmes face à la diversité des tâches que l'on doit réaliser, mais aussi face au nombre croissant de données qui peuvent s'afficher sur l'écran et des liens qu'il faut survoler. Au cours de la navigation, on peut observer la difficulté à trouver une information, à se déplacer ou se repérer dans le document, et surtout à se construire une représentation mentale de la structure du document (son volume par exemple). L'utilisateur ouvre une page web pour s'apercevoir que l'information recherchée ne correspond pas à son besoin. Il ferme la page puis décide d'en ouvrir une autre (stratégie essai-erreur). De surcroît, il doit gérer une activité de navigation en sélectionnant des liens qui vont le conduire d'une page web à une autre et d'un site web à un autre. Retrouver le parcours effectué ou une page dont on se souvient, peut s'avérer être une tâche ardue du fait du caractère éphémère des pages. Certes, cette stratégie de navigation (essai-erreur) procure une certaine liberté d'exploration et peut permettre à l'utilisateur d'organiser son parcours en fonction de ses besoins. Néanmoins, celui-ci risque d'être soumis à des risques de digressions et de désorientation dans les sites (Conklin, 1987). Avec la diversification et l'accroissement du volume des données sur le web, il peut être opportun de développer de nouveaux dispositifs d'affichage pour permettre un accès plus pertinent à l'information et une navigation plus aisée. Les récents développements de l'informatique, avec l'émergence des nouveaux outils de communication, appellent de nouveaux modes d'affichage qui ne peuvent se résumer à des logiques de navigation de type « essai-erreur ». Les travaux réalisés dans le domaine des interfaces de visualisation ont eu pour but de proposer aux utilisateurs un moyen efficace pour apprécier et manipuler les résultats de recherches d'information dans leur globalité. Cependant, bon nombre d'utilisateurs se heurtent encore à de nombreuses difficultés pour appréhender la quantité croissante de données, pour s'orienter dans ces espaces virtuels et repérer les sources pertinentes en relation avec ce qu'ils cherchent. Du fait que les résultats de leurs recherches s'affichent page par page et que les données ne soient pas toujours visibles en permanence, ils doivent ainsi naviguer fréquemment. Ils doivent visiter chacun des documents, un à un, pour en apprécier la réelle pertinence et identifier les liens potentiels entre ceux-ci. Dès lors, on comprend mieux qu'ils se contentent de sélectionner les premiers en occultant le reste des résultats. Pour Amadiou, van Gog, Paas, Tricot et Mariné (2009), le fait que les utilisateurs soient contraints de sélectionner l'information, la traiter et l'intégrer à d'autres informations impose une forte demande sur les ressources cognitives, ce qui peut conduire à la désorientation et à la surcharge cognitive. De plus, la mémoire est sollicitée à de nombreuses reprises et provoque quelquefois un abandon de la recherche lorsque l'effort cognitif est trop important. Le stockage et le traitement des informations sont assurés par la mémoire de travail qui permet de maintenir pendant un temps limité l'information sélectionnée. Sa capacité de stockage et d'encodage est limitée à quelques éléments pendant une courte durée (Miller, 1956). Elle joue un rôle primordial dans les activités cognitives complexes, telles que la compréhension, l'acquisition de nouvelles connaissances, le raisonnement et la résolution de problèmes (Baddeley, 1986). Elle assure notamment « la double fonction de traiter et de maintenir temporairement active l'information ». Certains auteurs (Rouet, Coutelet & Dinet, 2004), soulignent le problème de l'activation et de la désactivation d'informations en mémoire de travail. Selon eux, « la mémoire de

travail doit logiquement occuper une certaine place, place qui n'est dès lors plus disponible pour les autres traitements requis par la recherche. À moins que l'utilisateur soit en mesure de « désactiver » temporairement sa représentation de l'objectif ». Les traitements cognitifs et métacognitifs impliqués par la navigation posent donc le problème de la gestion cognitive des ressources. Au cours d'une tâche de recherche d'information, l'utilisateur met en œuvre un certain nombre de processus qui nécessitent pour chacun une quantité de ressources cognitives. Ce qui de surcroît peut entraîner des difficultés de traitement imposées par la tâche. Le concept de charge cognitive développé par Sweller (1999) fait référence à la mémoire de travail et s'intéresse à la manière dont celle-ci peut limiter au mieux tous les éléments qui peuvent la surcharger. La théorie de la charge cognitive montre que toute situation d'apprentissage entraîne une charge cognitive, et dans chaque situation, trois sources de charge cognitive doivent être considérées : la charge intrinsèque, liée à la difficulté de la tâche ; la charge cognitive extrinsèque (inutile) liée au format de présentation des informations à traiter ; et la charge cognitive pertinente, qui renvoie aux processus d'élaboration des connaissances. En d'autres termes, elle est liée aux difficultés de traitement imposées par une tâche et les ressources mentales que l'utilisateur alloue à sa réalisation. Les travaux de Rouet et Tricot (1998) ont cherché à modéliser les processus cognitifs mis en œuvre par l'utilisateur au cours de la navigation. Le modèle EST (Évaluation-Sélection-Traitement) comprend un premier niveau avec 3 processus élémentaires : l'évaluation de la pertinence de l'information, la sélection de l'information et le traitement de l'information sélectionnée. Un second niveau décrit des processus qui supervisent les processus élémentaires : la planification, le contrôle et la régulation. Chaque phase du modèle est considérée comme un module de traitement cognitif. Il inclut une représentation du but qui peut être modifié dynamiquement au cours d'une activité de recherche. Les processus cognitifs mis en œuvre lors d'une sélection d'information ou d'une action appropriée (sélection d'un lien, ouverture d'une fenêtre...) font aussi l'objet d'une modification avec l'âge. Les seniors éprouvent des difficultés à identifier des données pertinentes lorsqu'elles sont noyées dans un ensemble d'informations. L'hypothèse avancée est celle d'un ralentissement cognitif général. Avec l'âge, les processus mentaux prennent plus de temps. Les seniors ont donc de plus grandes difficultés à intégrer et à coordonner les informations. Il est même probable qu'avec l'âge, le vieillissement cognitif se caractérise par une diminution des performances cognitives : comme, par exemple, la possibilité d'activer et de maintenir en mémoire de travail des informations nécessaires à la poursuite de la tâche ; de se concentrer sur des informations cruciales et d'inhiber celles qui ne le sont pas ; d'exécuter et de traiter l'information ; d'utiliser des stratégies coûteuses en ressources cognitives. Ces caractéristiques sont liées aux fonctions cognitives et peuvent expliquer le déclin des performances dans les domaines de la cognition. Plusieurs études ont montré, dans différentes tâches cognitives, que le temps de réponse des seniors était plus long que celui des jeunes. Rouet *et al.* (2004) montrent que les seniors sont plus lents quand ils recherchent une information, notamment lorsqu'ils utilisent un menu profond. L'augmentation de la profondeur du menu accroît les exigences en termes de mémoire de travail. Freudenthal (2001) suggère que ces exigences sont plus importantes avec l'âge, les seniors étant plus désavantagés que les jeunes dans ce type de menus. Mais l'auteur montre surtout que les seniors sont déjà moins performants lors de la première étape de sélection, dès la première page web consultée, là où d'autres processus que la mémoire de travail s'avèrent déterminants pour la performance de recherche.

## 1.2 Le principe de multiplexage en profondeur (Pook, 00)

Le dispositif breveté<sup>1</sup> que nous présentons, vise notamment à proposer une aide pour appréhender et accéder à l'information pertinente en permettant de visualiser les informations de diverses natures dans l'ensemble des résultats présentés. Les principes et les sources d'inspiration qui sont à la base de ce dispositif reposent sur une utilisation conjointe d'une représentation fish-eye (forme de zoom sémantique) et d'une technique d'interaction s'inspirant du principe du multiplexage en profondeur (Pook, 00) pour décomposer une modalité visuelle. Le principe du multiplexage en profondeur permet de réduire la distance entre le fond et la surface du document, donnant ainsi à l'utilisateur la possibilité de mieux visualiser les données de l'espace d'information via une représentation hiérarchique. Elle permet, d'une part, de faciliter la localisation de la position courante des informations recherchées, et d'autre part, d'accélérer la recherche d'information. Plusieurs vues de l'information sont présentées au même moment grâce à un jeu de superposition et de transparence. Les différentes vues sont superposées au même endroit sur plusieurs « couches » analogues au principe des calques dans le logiciel Photoshop. La vue zoomée est affichée en dessous ou au-dessus de la vue courante grâce à un effet de transparence. La technique du multiplexage permet ainsi de visualiser un espace de travail « en profondeur », différent de celui offert par une interface graphique traditionnelle. Tous les documents peuvent être consultés de manière à apparaître ensemble dans l'espace, de même qu'il est possible de zoomer sur les zones de cet espace sur lesquelles on souhaite travailler. Ce que Shneiderman et Plaisant (2005) présentent comme l'« *Information seeking Mantra* » - « *Overview first, zoom and filter, and then details-on-demand* » est une exploration visuelle de données, obéissant à un processus en trois phases :

- Vue d'ensemble
- Zoom et filtrage
- Détails à la demande

Ce processus tend à répondre à deux problématiques imbriquées de la visualisation et du repérage de l'information. « La vue d'ensemble fournit un cadre général pour la compréhension de l'ensemble des données, elle peint une "image" de l'entité de données et tout ce que la visualisation de l'information représente » (Craft & Cairns, 2005). Les auteurs déclinent le concept de zoom en 3 types. Le zoom géométrique permet à l'utilisateur de spécifier l'échelle de grossissement et d'augmenter ou de diminuer le grossissement d'une image ; cela permet à l'utilisateur de se concentrer sur une zone et sur des informations spécifiques. Le zoom fish-eye est similaire au zoom géométrique, excepté que l'information à l'extérieur n'est pas perdue de vue par l'utilisateur ; l'information est seulement déformée. Le zoom sémantique modifie la forme ou le contexte dans lequel l'information est présentée. Un exemple de ce type de zoom est l'utilisation d'une horloge numérique à l'intérieur d'une application. Dans une vue normale, l'horloge peut montrer l'heure du jour et la date. Si l'utilisateur effectue un zoom avant, l'horloge peut modifier son apparence en ajoutant les secondes et les minutes. Si l'utilisateur effectue un zoom arrière, l'information est rejetée avec seulement la date. Les informations réelles n'ont pas changé, seul le mode de présentation varie. Le filtrage est décrit comme une technique d'interaction utilisée pour limiter la quantité d'informations affichées. Il permet de spécifier des catégories pour visualiser un sous-ensemble des données. Le niveau de détail varie donc dans le

---

<sup>1</sup>Système breveté : Dispositif de pointage pour ordinateur : souris cartographique. INPI, bulletin officiel de la propriété industrielle n° 07/34 du 24.08.2007 (n° de publication 2 886 425).

temps. Le « détail à la demande » est une technique qui permet de façon interactive de sélectionner et de visualiser de manière détaillée des informations tout en offrant un aperçu de l'ensemble des données. Cette technique fournit des informations supplémentaires sans nécessiter un changement de vue. Cela peut être utile pour mettre en relation des informations détaillées ou pour résoudre rapidement des tâches particulières, telles que l'identification d'un élément d'un ensemble spécifique parmi d'autres, ou concernant les attributs de deux ou plusieurs points de données (Craft & Cairns, 2005).

### 1.3 Présentation du dispositif

L'idée principale de ce dispositif de navigation est de proposer une nouvelle fonctionnalité de prévisualisation du contenu dans un environnement numérique en créant un dispositif de pointage manuel spécifique. Ce système technique permettant d'afficher et de manipuler des informations sur écran a été incorporé dans une souris informatique à commande de prévisualisation. Elle comprend une partie mécanique, une partie logicielle (plug-ins pour Firefox et Internet Explorer) et une partie électronique incorporée dans le corps de la souris. Une partie du corps de la souris est montée sur ressorts, tel un système comparable à des amortisseurs et peut donner accès à la cartographie d'un site web par une simple pression de la main (Figure 1). Un capteur de déplacement mesurant le niveau d'enfoncement vertical du corps principal est associé à un degré d'opacité permettant d'afficher via un jeu de transparence la structure de l'information d'un fichier ou d'un site web. L'enfoncement vertical du corps principal de la souris permet d'associer la fonction recherchée de prévisualisation à un mode d'interaction tactile différent de celui associé aux boutons à cliquer ou encore à la molette. Ce geste correspond intuitivement à l'immersion dans un document et sa structure. L'utilisateur peut finalement consulter des documents numériques sans être obligé à chaque fois de refermer une page pour en ouvrir une autre.



**Figure 1.** Présentation du dispositif

Lorsqu'il se trouve face à une page d'un site web, l'utilisateur peut éprouver des difficultés à se représenter le document qu'il consulte. S'il veut prendre connaissance de la structure du document, il exerce une pression de la main sur le corps de la souris. Deux vues viennent se superposer via un mécanisme de transparence : l'une représentant la page courante et l'autre représentant un plan du site (Figure 2). L'utilisateur peut facilement distinguer les deux vues. L'affichage du plan présenté sous la forme d'un escamot (fenêtre *pop-up*) est temporaire de manière à ne pas surcharger l'écran. A partir du moment où l'utilisateur n'éprouve pas le

besoin de connaître la structure du document, il s'estompe dès que l'utilisateur termine le geste qui a provoqué son apparition à l'écran.



Figure 2. Apparition en transparence de la structure du site Crédit Mutuel (appui prolongé de la main sur le corps de la souris)

Si l'utilisateur exécute un déplacement latéral à l'aide de la souris, il peut survoler chaque lien pour consulter un aperçu de chaque page (Figure 3). Il peut visualiser les liens pour chaque page consultée. L'effet œil de poisson (fish-eye) est destiné à distinguer les trois espaces affichés : la page d'accueil (plein écran), le plan du site en transparence (rectangle), et la page ciblée (escamot *fish-eye*). La page ciblée apparaît de manière éphémère et uniquement si l'utilisateur le souhaite.



Figure 3. Apparition en transparence d'un aperçu d'une page lors du survol d'un des liens (déplacement latéral de la souris)

Si l'utilisateur relâche la pression de la main, en maintenant le pointeur sur la prévisualisation, la page s'affiche dans son intégralité comme s'il avait navigué de manière traditionnelle en cliquant sur un lien (Figure 4).



**Figure 4.** Affichage de la page d'accueil lors du relâchement de la main (si le curseur n'est pas pointé sur une prévisualisation de page)

Le dispositif que nous testons est donc relativement simple et *a priori* intuitif, puisqu'il suffit que l'utilisateur exerce une pression sur la souris informatique pour faire apparaître une prévisualisation des informations contenues dans des pages derrière des liens hypertextuels. Nous supposons ainsi qu'il peut être une aide bénéfique si le temps de recherche et la charge mentale perçue chez des utilisateurs diminuent de manière significative. L'une des hypothèses que nous avançons est que ce dispositif de prévisualisation permettrait de soulager la charge cognitive en mémoire de travail, et constituerait ainsi une aide externe en faveur des utilisateurs. Dans une précédente étude (Djouani, Caro, Boucheix, Bugaiska & Bergerot, 2011), une expérimentation a été conduite auprès de 36 participants (jeunes *vs* âgés) en vue de tester ce dispositif. La tâche consistait à trouver un appartement comportant une ou plusieurs caractéristiques spécifiques dans un site web d'agence immobilière spécialement conçu et incluant 350 pages descriptives de logements. Deux conditions de ce site ont été testées. L'une « habituelle » présentant les modalités classiques de recherche, page par page ; l'autre « transparente » permettant à l'utilisateur de pré-visualiser les pages choisies et de ne sélectionner que les pages pertinentes. L'hypothèse défendue était que la modalité « transparente » devait mener à des performances de recherche d'informations supérieures (temps de recherche), suggérant qu'elle permette ainsi d'alléger la charge cognitive en mémoire de travail. Les résultats ont montré des effets significatifs en faveur de la condition transparente. D'une part, le nombre de pages consultées pour chaque groupe de participants est statistiquement plus élevé. D'autre part, la modalité transparente permet de réduire le temps de recherche d'information et présente donc l'avantage d'être moins coûteux d'un point de vue cognitif. La théorie de la charge cognitive permet de rendre compte de l'effort mental déployé au cours de la tâche. La charge extrinsèque importante a tendance à limiter la mobilisation de ressources liées à la charge utile, alors qu'en la réduisant, elle favorise ainsi l'accès à l'information pertinente. Toutefois, nous n'avons pas la certitude que c'est la condition transparente qui provoque des temps de recherche plus rapides. Nous ne savons pas si dans la condition transparente, le fait de naviguer à partir d'un plan ou d'avoir accès à la prévisualisation des pages provoque des temps de recherche plus rapides.

Or, certaines expériences conduites visant à mesurer les effets de la recherche d'information depuis un plan et une page d'accueil ont montré que l'accès depuis un

plan pouvait être plus bénéfique (Caro, 2007). Dans l'expérience suivante que nous présentons, une modification du matériel est apportée par l'ajout d'une modalité intermédiaire dite « inter » sous la forme d'un plan sans prévisualisation. Cette modalité sera ainsi testée auprès des populations étudiantes et âgées dans les mêmes conditions que les deux autres modalités.

## **2 Analyse des mouvements oculaires au cours d'une tâche de recherche de logement**

Nous utilisons ici la méthode de l'enregistrement des mouvements oculaires (Eye-tracking) en vue de nous renseigner sur la manière dont l'utilisateur traite les informations au cours de la tâche. Elle fournit un ensemble de mesures objectives et relativement directes des processus engagés lors de la recherche d'information. Son intérêt réside principalement dans l'identification du parcours visuel de l'utilisateur (ordre et durée de fixation). Elle permet d'obtenir de nombreux indicateurs destinés à mieux comprendre les stratégies d'exploration visuelle. Ces indicateurs peuvent être spatiaux (quelles zones ont été explorées ? Qu'est-ce qui a pu attirer le regard dans cette zone ?), mais aussi temporels (combien de temps une zone particulière a été fixée ?). La technique Eye-tracking donne donc une indication précise sur les ressources cognitives investies et peut permettre ainsi de mieux comprendre les processus cognitifs impliqués au cours de la tâche (Strahm & Baccino, 2003 ; Kicka, Chevalier & Léger (2005)).

### **2.1 Objectif et problématique de la recherche**

Notre objectif est d'étudier les effets de ce dispositif dont on a constaté qu'il améliore la planification de recherche d'information et allège les ressources de la mémoire de travail (Djouani, Caro, Boucheix & Bugaiska, 2011). Il s'agit notamment de comparer les effets induits de la modalité plan par rapport aux deux autres modalités de recherche (habituelle et inter). L'examen de ces modalités est testé dans le cadre d'une tâche de recherche d'information avec une population (jeune *vs* âgée) navigant sur un site web d'agence immobilière. Le site web expérimental est présenté selon trois conditions expérimentales. Sa spécificité réside dans le mode de consultation. La première condition « normale » est caractérisée par un mode de consultation classique où l'utilisateur doit, pour parvenir à l'information recherchée, naviguer de page en page via une arborescence hiérarchique sans passer par une prévisualisation de celle-ci. La deuxième condition « plan » présente à la demande un mode d'affichage sous la forme d'une arborescence où l'utilisateur peut survoler chaque lien et prévisualiser l'information pertinente. Enfin dans la troisième condition « inter », l'utilisateur doit se positionner sur un lien du plan, de manière à faire apparaître la page sélectionnée dans son intégralité. Le concept de la théorie de la charge cognitive qui permet de rendre compte de l'effort mental déployé au cours de la tâche est convoqué. Une charge extrinsèque importante aura tendance à limiter la mobilisation des ressources liées à la charge utile, alors que faible, elle pourrait libérer des ressources favorisant ainsi l'accès à l'information pertinente. L'effort mental de chaque participant est donc examiné à l'aide d'un questionnaire (Nasa Tlx) sur la mesure subjective de la charge cognitive consentie selon le type de modalité. Deux questionnaires sont présentés successivement uniquement au groupe seniors. La manipulation précise de ces facteurs permet de mieux comprendre la nature des effets observés. Pour mieux préciser ces effets, plusieurs hypothèses ont été émises.

## 2.2 Hypothèses expérimentales

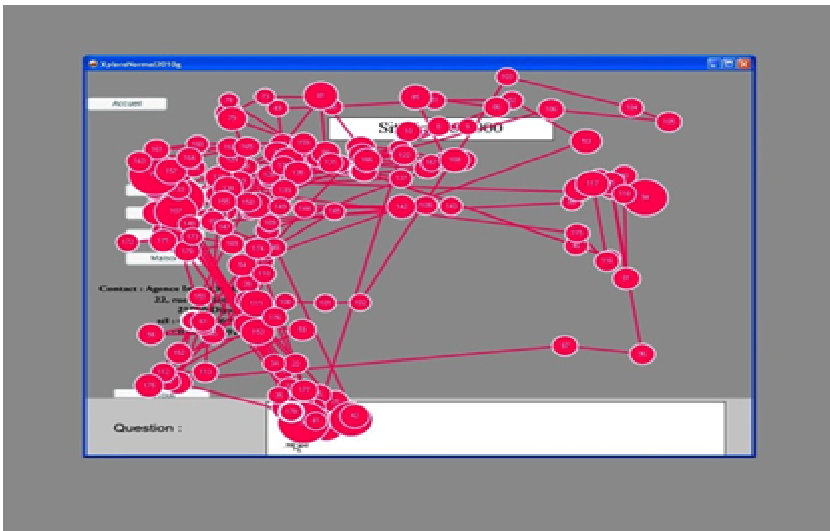
Dans cette étude, la manipulation précise du type de modalité et le contrôle de certains facteurs permettent de mieux comprendre la nature des effets observés. Pour mieux préciser ces effets, plusieurs hypothèses peuvent être émises. Le participant dispose au départ d'un but précis (consigne de recherche) à laquelle il doit répondre. La réalisation de ce but nécessite un traitement (identification, compréhension) d'une quantité variable d'information. Celle-ci parvenant en mémoire de travail peut donc entraîner une inhibition des informations jugées peu pertinentes ou alors une localisation et une extraction de ces informations. Nous faisons l'hypothèse que la modalité plan réduit le temps de recherche quel que soit l'âge des sujets. Les nombreuses études sur la mémoire de travail ont permis de démontrer qu'elle était limitée. Ces limitations peuvent donc gêner la formation du but de recherche ou le maintien des informations dans la mémoire. Il est donc essentiel de déterminer le niveau de charge mentale. En examinant les contraintes imposées par le système cognitif lors du processus de recherche, nous faisons l'hypothèse que la modalité plan entraîne une réduction de la charge cognitive des participants. Ce dispositif de prévisualisation permettant une exploration visuelle des données (vue d'ensemble, zoom filtrage, détail à la demande) devrait donc optimiser les mécanismes de recherche d'informations (temps de recherche), et alléger la charge cognitive en mémoire de travail. Notre dernière hypothèse est que la prévisualisation des données dans la condition plan permet de diminuer le temps de recherche et par conséquent de trouver plus rapidement l'information. Nous supposons que la représentation qu'a l'utilisateur du but et celle du but à atteindre pourrait influencer ses performances dès lors que la distance entre celles-ci se trouve réduite. Les informations éloignées pouvant être ainsi réduites par ce dispositif de prévisualisation, l'utilisateur optimiserait sa recherche en trouvant l'information pertinente plus rapidement. Dans le but de valider ces hypothèses, une expérience centrée utilisateurs sur le parcours oculaire d'un site web d'agence immobilière est conduite lors d'une tâche de recherche d'information. Il est demandé aux participants de trouver un logement (appartements et maisons) possédant un ou plusieurs critères cible (de un à sept). En vue de comprendre les opérations cognitives réalisées et pour mesurer l'activité oculaire des sujets, nous utilisons dans cette expérience la technique d'enregistrement des mouvements oculaires.

## 2.3 Analyser le comportement visuel des utilisateurs par la capture des mouvements oculaires

Depuis environ deux décennies, la technique d'enregistrement des mouvements oculaires a été utilisée pour étudier les traitements cognitifs. La littérature présente encore peu d'études empiriques sur le sujet, et celles qui restent disponibles sont la plupart du temps très descriptives et donnent peu d'explications comportementales. Toutefois, l'avantage de cette technique est qu'elle permet de savoir ce que l'utilisateur regarde en priorité sur le site. Elle fournit un pistage en temps réel de l'activité cognitive de l'utilisateur et permet de mieux comprendre les stratégies d'inspection qu'il développe pour naviguer entre les pages. En l'occurrence, il s'agit de déterminer si les trajectoires oculaires au cours de l'inspection visuelle se modifient en fonction des questions posées, autrement dit, si certaines questions focalisent l'attention sur des zones précises des pages consultées. Le principe fonctionne avec des micro-caméras qui concentrent leurs objectifs sur les deux yeux du participant et enregistrent ainsi leurs mouvements lorsqu'il fixe un stimulus. Pour ce faire, elles captent le contraste entre la rétine et la pupille à l'aide



d'une projection de lumière infra-rouge en analysant la lumière réfléchiée par la cornée de l'œil humain. Par alternance des réflexions contrastées de la pupille (clair / foncé), il devient donc possible « d'accrocher » le mouvement de l'œil. Ainsi, dès qu'une première calibration est effectuée, l'Eye-Tracker (oculomètre) fixe des repères sur trois axes dimensionnels et peut analyser les mouvements de la pupille de haut en bas, comme de gauche à droite. Cette technique permet d'obtenir des données en temps réel quant à leurs comportements visuels. Par exemple, appliquée à une page web, elle permet de suivre avec une très grande précision le parcours d'exploration visuelle d'un utilisateur (Baccino, 2004). Elle permet aussi de dégager des zones d'intérêt et de suivre l'enchaînement des différentes prises d'information visuelle. Les fixations et les saccades représentent les éléments fondamentaux de l'étude des mouvements oculaires à partir desquels sont calculées plusieurs mesures spatiales et temporelles du déplacement du regard. Les mesures spatiales sont représentées par des distances saccadiques, ou des zones inspectées par le regard (scanpath). Les mesures temporelles concernent les durées des fixations globales limitées à une information précise (Goldberg & Kotval, 1999). L'avantage principal est de donner des indications précises sur la manière dont est traitée l'information durant la réalisation d'une activité cognitive. Cette technique s'applique notamment à des situations impliquant des stratégies de résolution de problèmes, de recherche d'information (navigation sur le web), ou d'apprentissage. La figure 5 ci-dessous illustre un exemple de parcours d'un participant. Les points de couleur représentent les fixations oculaires et les traits indiquent les transitions oculaires.



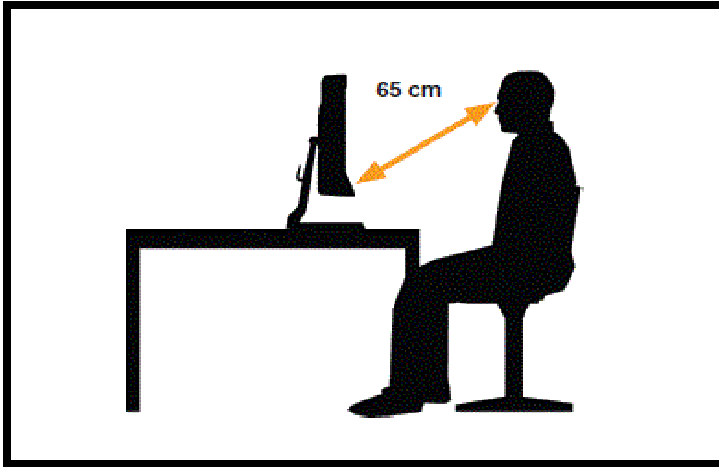
**Figure 5.** *Parcours oculaire de fixation d'un participant*

### **3 Méthode**

#### **3.1 Les participants**

31 étudiants de niveau BTS (n=20 ans) et 28 seniors (n= 70 ans) titulaires au moins du CAP ont participé à cette expérience. Chaque participant savait utiliser un

navigateur internet. Chacun pouvait lire à une distance de 65 cm de l'écran avec ou sans correctif oculaire, lunettes ou lentilles (Figure 6). Ils ne reçoivent aucune indemnisation, ni aucune autre contribution, et sont tous volontaires pour participer à l'expérience.



**Figure 6.** *Participant devant l'Eye-Tracker*

### 3.2 Matériel de la tâche expérimentale

Le matériel comprend un ensemble d'annonces immobilières de logements accompagnées de textes descriptifs présentés sur un Eye-Tracker Tobii 1750 permettant d'enregistrer les mouvements oculaires. Ce système d'enregistrement inclus dans l'écran ne perturbe en aucun cas le participant au cours de la tâche. Les textes présentés sont des descriptifs de logements qui renseignent notamment le type d'habitation (F3, F2, maison...), la surface habitable, la localisation (ville, campagne), la présence ou l'absence de garage. La tâche a été volontairement complexifiée pour localiser l'information cible dans le site. Nous avons ainsi déterminé 3 niveaux de complexité en fonction du nombre de critères et de la distance entre chaque lien à parcourir de manière à rendre plus difficile le parcours de recherche de manière progressive. Dans la modalité normale, après avoir lu la consigne, le participant doit, dans sa recherche, partir du sommaire situé à gauche de la page d'accueil (figure 7 a). Le sommaire définit les principales rubriques du site immobilier et présente donc une aide au guidage à la recherche d'information. Un lien « retour » situé en bas de page lui permet de revenir en arrière à chaque fois qu'il le souhaite. En vue de répondre à la consigne, l'utilisateur doit cliquer sur les rubriques < logement < Type < lieu < meublé / non – meublé < garage/sans garage < access +/- accédant ainsi aux pages intermédiaires (figure 7 b) pour parvenir au descriptif du logement (figure 7 c).

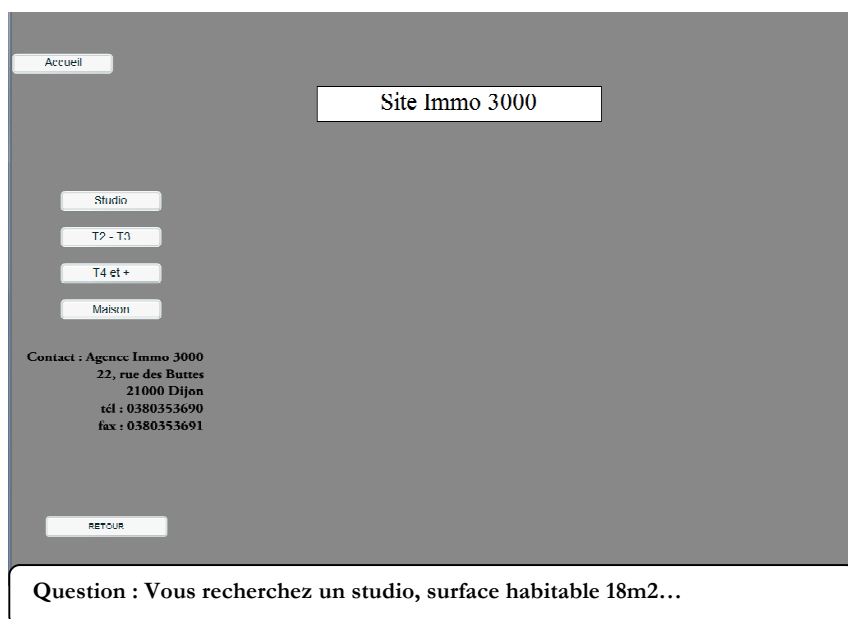


Figure 7 a. Modalité normale : page d'accueil

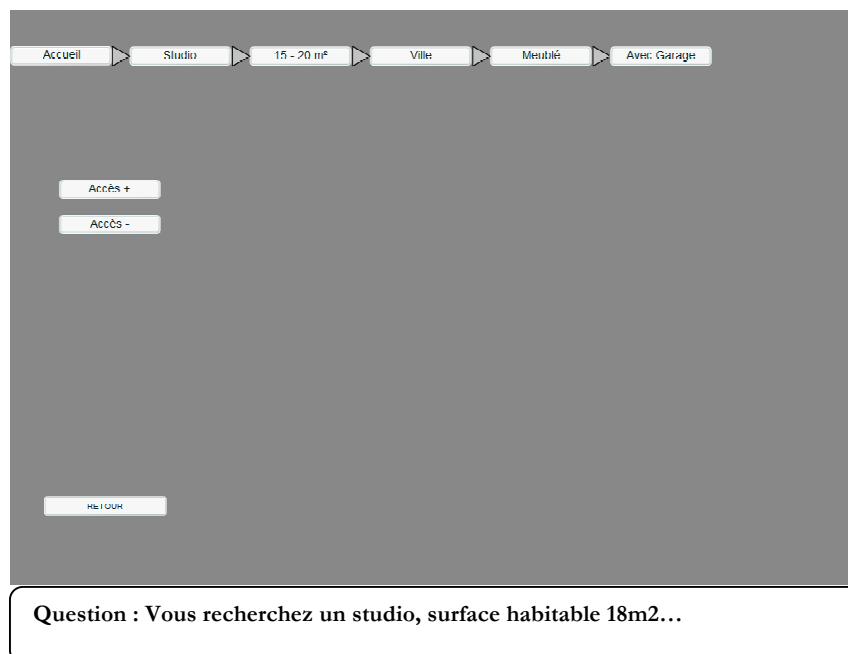


Figure 7 b. Modalité normale : page intermédiaire

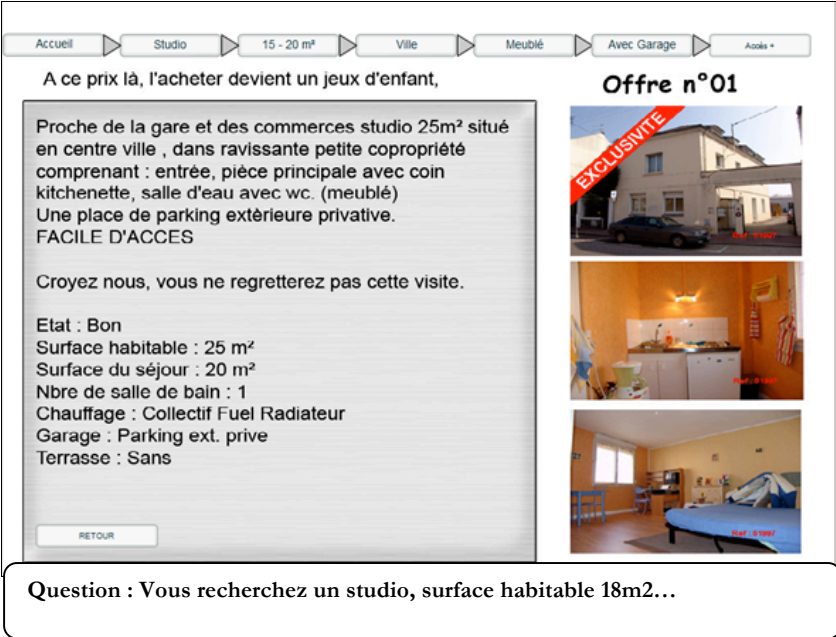
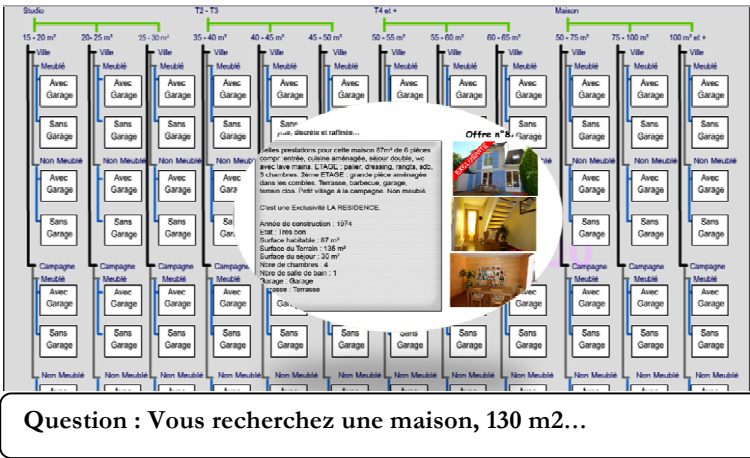


Figure 7 c. Modalité normale : logement vue plein écran

Dans la modalité plan, le plan du site détaille l'ensemble des rubriques, à savoir : le type de logement, la surface, le lieu, meublé ou non-meublé, avec ou sans garage, avec une photographie du logement (figure 8 a). Cette modalité met en évidence une notion d'immersion, c'est-à-dire la profondeur du document consulté en présentant le contenu des rubriques et leur niveau de précision avec un effet fish eye. Pour consulter un aperçu de chaque page, le participant positionne le pointeur de la souris sur un lien : un escamot apparaît. S'il relâche la pression de sa main exercée sur la souris, la page sélectionnée s'affiche en plein écran (figure 8 b).



Question : Vous recherchez une maison, 130 m2...

Figure 8 a. Modalité plan : plan du site et prévisualisation du logement (correspondant à l'appui de la main sur le corps de la souris).




Elegante, discrète et raffinée...

Belles prestations pour cette maison 87m<sup>2</sup> de 6 pièces compr : entrée, cuisine aménagée, séjour double, wc avec lave mains. ETAGE : palier, dressing, rangts, sdb, 3 chambres. 2ème ETAGE : grande pièce aménagée dans les combles. Terrasse, barbecue, garage, terrain clos. Petit village à la campagne. Non meublé

C'est une Exclusivité LA RESIDENCE.

Année de construction : 1974  
Etat : Très bon  
Surface habitable : 87 m<sup>2</sup>  
Surface du Terrain : 135 m<sup>2</sup>  
Surface du séjour : 30 m<sup>2</sup>  
Nbre de chambres : 4  
Nbre de salle de bain : 1  
Garage : Garage  
Terrasse : Terrasse

**Offre n°87**



**Question : Vous recherchez une maison, 130 m2...**

Figure 8 b. Modalité plan : logement plein écran (correspondant au relâchement de la main sur le corps de la souris).

Dans la modalité inter, le plan du site apparaît, mais sans possibilité de prévisualiser les pages (figure 9 a). Le participant doit, pour parvenir au résultat de sa recherche, ajuster le pointeur de la souris sur un lien de manière à pouvoir ouvrir la page d'intérêt en texte plein (figure 9 b).



**QUESTION : Vous recherchez un T3, surface habitable...**

Figure 9 a. Modalité inter : plan du site (sans possibilité de prévisualiser l'escamot avec effet fish eye)



**Figure 9 b.** Modalité inter : page d'intérêt avec vue plein écran du logement

### 3.3 Variables et plan expérimental

Les variables indépendantes sont :

- Le type de document comportant 3 modalités : une modalité normale, une modalité plan avec prévisualisation, et une modalité inter (plan seul sans prévisualisation),
- Le groupe d'âge (étudiants vs seniors) variable inter sujet,
- La complexité de la tâche à réaliser, variable intra-groupe qui varie selon les différents niveaux de complexité des questions posées.

Les variables dépendantes utilisées sont :

- La durée totale de fixation,
- Le score au questionnaire Nasa Tlx.

Le plan expérimental correspond à un plan modèle linéaire général à mesures répétées de type : 2 (âge étudiant vs senior) X 3 (modalités de recherche).

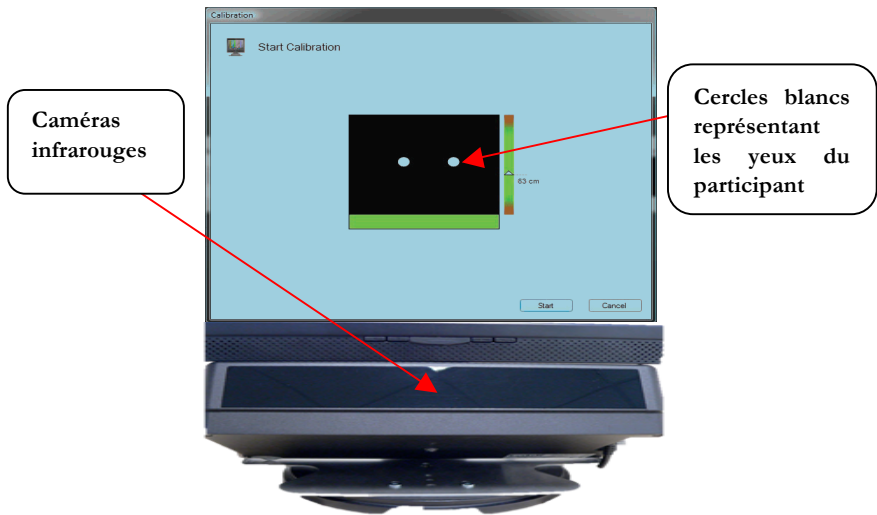
### 3.4 Procédure

Le participant est invité à s'installer le plus confortablement possible sur le siège en face de l'écran dans la salle expérimentale (Figure 10).



**Figure 10.** Participant devant l'écran expérimental

Une fois installé, l'expérimentateur lui présente le déroulement de l'expérience. Les consignes ainsi que l'explication sur l'usage des boutons de navigation sont données oralement. Le participant exécute quelques essais durant lesquels l'expérimentateur s'assure de sa bonne compréhension. Ensuite, l'expérimentateur démarre la phase de calibrage. Cette phase consiste à indiquer aux caméras infrarouges incorporées dans l'écran de contrôle où se trouvent les yeux du participant. Une fois que les yeux sont dans le champ des caméras, l'expérimentateur procède à quelques réglages afin d'obtenir le calibrage stable sur l'écran de contrôle (Figure 11).



**Figure 11.** *Calibration du regard d'un participant*

La phase de test ne débute que lorsque le calibrage est satisfaisant. Une fois cette condition réalisée, l'expérimentateur ouvre l'application et débute l'enregistrement. Le participant peut alors démarrer sa tâche de recherche en lisant la consigne affichée en bas de l'écran. Durant la tâche, il peut consulter la consigne autant de fois qu'il le souhaite et reprendre ou poursuivre sa recherche de logements. Le nombre de consultations de la consigne représente ainsi un indice témoin de la charge cognitive investie. Les participants sont répartis en deux groupes. Chaque groupe est confronté aux trois modalités dans un ordre contrebalancé. Les questions de recherche sont identiques pour chaque modalité. Dès que le participant a terminé sa tâche, il fait signe à l'expérimentateur qui ferme lui-même l'application et clôture l'enregistrement des mouvements oculaires. La durée totale de chaque passation (consigne, calibrage, phase d'entraînement et phase expérimentale) est comprise entre 45 minutes et 75 minutes selon la plus ou moins grande difficulté de calibrage. À l'issue du test, chaque participant des deux groupes doit répondre à un questionnaire de mesure subjective de la charge cognitive Nasa TLX. Puis, deux questionnaires sont présentés seulement au groupe sénior ; l'un visant à évaluer de manière rapide l'état mental (MMSE), et l'autre à mesurer les aptitudes verbales (MILL HILL).

▪ **Mesure objective de la charge cognitive : Nasa Tlx (figure 12)**



Le Nasa Tlx est un questionnaire d'évaluation de la charge mentale qui permet d'obtenir des informations spécifiques sur les difficultés ressenties par les participants durant la tâche. Fiable en ce qui concerne sa validité, il donne une indication fidèle de la charge cognitive investie dans une activité. L'intérêt principal réside dans le fait que les participants sont en mesure d'évaluer subjectivement leur effort mental et de lui attribuer une valeur, c'est-à-dire de reporter le niveau de la charge mentale fournie pour réaliser la tâche.

Pour chaque facteur, cochez sur la ligne entre les deux extrêmes, selon votre ressenti pendant la conduite.

**Charge Mentale** : Quelle a été l'importance de l'attention et du travail mental que vous avez du fournir pour effectuer ce test  
Faible ..... Elevée

**Charge Physique** : Quelle a été l'importance de l'effort physique que vous avez du fournir pour effectuer ce test  
Faible ..... Elevée

**Pression Temporelle** : Dans quelle mesure avez-vous eu l'impression d'être pressé par le temps sur ce test  
Faible ..... Elevée

**Effort / Fatigue** : Avez-vous dû faire beaucoup d'efforts physiques et attentionnels pour effectuer ce test, dans quelle mesure vous sentez-vous fatigué?  
Faible ..... Elevée

**Stress** : Dans quelle mesure vous êtes-vous senti stressé, irrité ou insatisfait?  
Faible ..... Elevée

**Performance** : Comment évaluez-vous votre façon d'effectuer ce test ?  
Bonne ..... Mauvaise

Fin

Figure 12. Questionnaire Nasa TLX (version numérique)

Il comprend également une série de cartes de comparaison (Figure 13) des six facteurs de la charge de travail : la charge mentale (activité mentale et perspicacité), la charge physique (niveau effort physique), la pression temporelle (exigence temporelle), la performance du participant (niveau d'exécution des buts), l'effort (niveau d'exigence physique et moral) et enfin le stress (pression, dépression, insécurité durant la réalisation de la tâche). Chaque carte de comparaison est présentée au participant dans un ordre différent afin de contrebalancer un éventuel effet d'ordre. Le participant doit donc opérer un choix binaire, c'est-à-dire sélectionner le facteur qu'il estime le plus proche de la tâche qu'il vient de réaliser.

CHARGE MENTALE OU CHARGE PHYSIQUE	PRESSION TEMPORELLE OU PERFORMANCE	STRESS OU CHARGE PHYSIQUE
PERFORMANCE OU CHARGE PHYSIQUE	CHARGE MENTALE OU PRESSION TEMPORELLE	EFFORT/FATIGUE OU PERFORMANCE
PERFORMANCE OU STRESS	EFFORT/FATIGUE OU CHARGE MENTALE	EFFORT/FATIGUE OU STRESS
STRESS OU PRESSION TEMPORELLE	CHARGE PHYSIQUE OU PRESSION TEMPORELLE	PERFORMANCE OU CHARGE MENTALE
CHARGE PHYSIQUE OU EFFORT/FATIGUE	STRESS OU CHARGE MENTALE	PRESSION TEMPORELLE OU EFFORT/FATIGUE

Figure 13. Exemple de cartes de comparaison binaire pour définir le poids dimensionnel de la charge mentale



Avec l'ensemble des données recueillies de l'évaluation et du poids des six facteurs (tableau 1), il est possible de calculer le score global de la charge mentale de la tâche en multipliant le nombre de facteur obtenu (poids) avec les résultats de l'évaluation du questionnaire (Poids \* évaluation = Score charge). On obtient le coefficient moyen de charge mentale en additionnant la somme des scores charge/15, soit : Coefficient de charge =  $\Sigma$  score charge / 15.

FACTEURS	POIDS (PONDERATION)	EVALUATION	SCORE CHARGE
CHARGE MENTALE			
CHARGE PHYSIQUE			
PRESSION TEMPORELLE			
PERFORMANCE			
STRESS			
EFFORT			
TOTAL			

**Tableau 1.** Score des sources de charge mentale

#### ▪ MMSE (Mini mental state examination)

Le MMSE est un examen mental qui permet d'évaluer de manière rapide l'état mental des personnes âgées lors d'un dépistage de démence de type Alzheimer. Il s'agit d'un questionnaire qui inclut des items d'orientation temporelle (quelle est la date d'aujourd'hui ?) et spatiale (où sommes-nous ?). Le score global est noté sur 30 points. Un score de 26 et plus est considéré dans les études comme témoignant d'un fonctionnement cognitif normal. Un score compris entre 21 et 26 suggère une démence modérée et un score de moins de 10 peut signifier une démence grave (Folstein *et al.*, 1975). Ce questionnaire nous a permis notamment d'écarter dans l'analyse de nos résultats, les seniors ne répondant pas aux exigences d'un fonctionnement cognitif normal.

#### ▪ MILL HILL

Le MILL HILL est une échelle de vocabulaire (version crayon papier) destiné à mesurer les aptitudes verbales, qui comprend une série de 34 mots. Pour chaque mot, le participant doit trouver un synonyme parmi six autres mots qui lui sont présentés. Il voit un mot écrit en majuscules, accompagné de six mots en minuscules. Il doit choisir parmi ces 6 mots, lequel est le meilleur synonyme du mot écrit en majuscule et le souligner. Les items sont numérotés de 1 à 34 et doivent tous être remplis. Les participants obtiennent un point pour chaque synonyme correctement sélectionné (aucun crédit pour d'autres réponses). La figure 14 fournit un exemple des items utilisés dans cette épreuve.

MALARIA	
base	paludisme
théâtre	fruit
océan	ton

Figure 14. Exemple d'item utilisé dans le MILL HILL

4 Analyse et résultats

Mille trois cent soixante-huit segments oculaires des cinquante-sept participants ont pu être exploités à l'aide du logiciel Tobii studio. Nous avons déterminé sur chaque page consultée des zones d'intérêt, appelées AOI (*Area Of Interest*). Les pages visitées ont été découpées en 4 AOI, identifiées, ordonnées et codées numériquement : la zone AOI 1 correspondant au bandeau, AOI 2 à la zone de recherche, AOI 3 à la photo du logement, et AOI 4 à la question (Figure 15). Ce découpage permet de repérer sur chaque page les zones fixées dans lesquelles les fixations se succèdent. Il est alors possible de calculer un temps moyen de fixation oculaire dans chaque AOI, ce qui permet de déterminer le temps d'attention accordé à chacune d'entre elles par le participant.

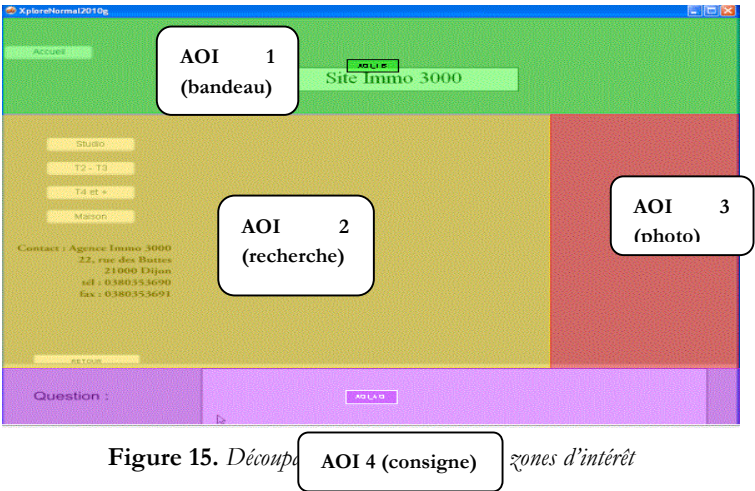


Figure 15. Décomposition d'une page web en zones d'intérêt

4.1 Mesures On Line

La capture des mouvements oculaires a permis d'analyser la durée de fixation en secondes de chaque participant dans chaque AOI et pour chaque page consultée. La durée de fixation correspond ainsi à la moyenne des temps de fixation enregistrés sur chaque AOI de la page. Autrement dit, il s'agit de la moyenne du temps passé par chaque participant à fixer une zone d'intérêt avant de déplacer son regard vers une autre zone. Du fait de l'inégalité de surface des AOI, l'indicateur principal est le rapport entre la durée de fixation et la surface de l'AOI considérée. Il est noté « indice de fixation ».

Effet de l'âge

L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée avec l'âge (étudiants vs seniors) comme facteur inter sujet et la durée totale de fixation (secondes). Elle indique un effet statistiquement significatif de l'âge ( $F(1,51)=.92, p=.003$ ) révélant

que la durée d'exploration des pages web (indice de fixation) est plus longue pour les seniors que pour les étudiants. Autrement dit, les seniors passent davantage de temps que les étudiants à chercher la réponse à la question posée. La figure 16 présente l'indice de fixation moyen en fonction de l'âge des sujets.

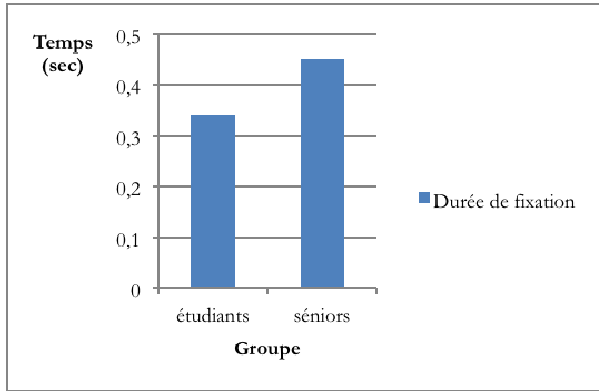


Figure 16. Indice de fixation moyen en fonction de l'âge

#### *Effet de la modalité de recherche*

Les résultats obtenus concernant la modalité de recherche induisent des différences de fixations des participants suggérant que la modalité plan entraîne un temps de recherche moins long que les deux autres modalités. L'indice de fixation est moins élevé dans la modalité plan que dans les deux autres modalités. Un effet significatif est observé ( $F(2,51)=11.57$ ,  $p<.01$ ). La figure 17 présente l'indice de fixation moyen des participants selon la modalité.

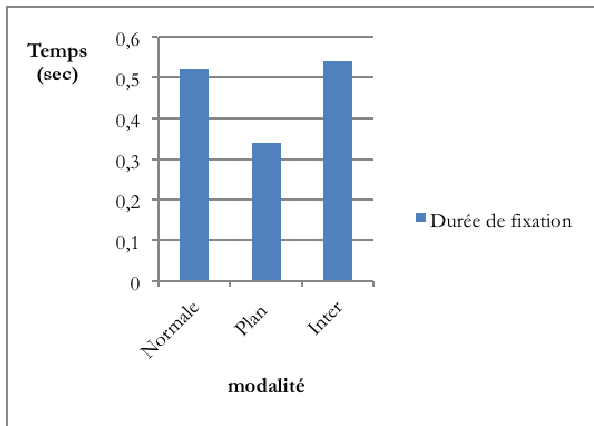


Figure 17. Indice de fixation moyen selon la modalité

#### *Effet de l'AOI*

L'analyse révèle un effet significatif du type d'AOI  $F(3,15)=45.07$ ,  $p <.01$ . L'indice de fixation est plus élevé dans l'AOI 2, 3 et 4 et moins élevé dans l'AOI 1. Autrement dit, la durée de fixation est plus importante dans les zones d'intérêt où se

trouve potentiellement l'information. La figure 18 présente l'indice de fixation moyen sur chaque AOI.

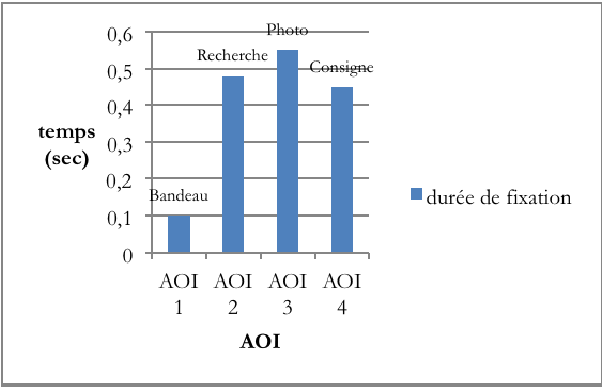


Figure 18. Indice de fixation moyen en fonction des AOI

L'interaction entre l'âge et la modalité ne met pas en évidence d'effet significatif ( $F(2,51)=1.19, p=.31$ ).

**Effet de l'interaction des facteurs AOI et modalité**

L'interaction des facteurs (AOI et modalité) présente un effet significatif  $F(6,15)=26.21, p<.01$  suggérant que la modalité plan entraîne un temps de fixation moins long dans l'Aoi 1, 2, et 4. La modalité inter entraîne un temps de fixation plus long dans les AOI 3 et 4 et légèrement inférieur à la condition normale pour les AOI 1 et 2. L'interaction des facteurs (AOI et âge) ne révèle aucun effet significatif  $F(3,15)=.77, p=.51$ . L'interaction des facteurs (AOI, âge et modalité) ne révèle pas d'effet significatif ( $F(6,153)=2.72, p=.015$ ). La figure 19 montre l'indice de fixation moyen de l'interaction des facteurs (AOI et modalité).

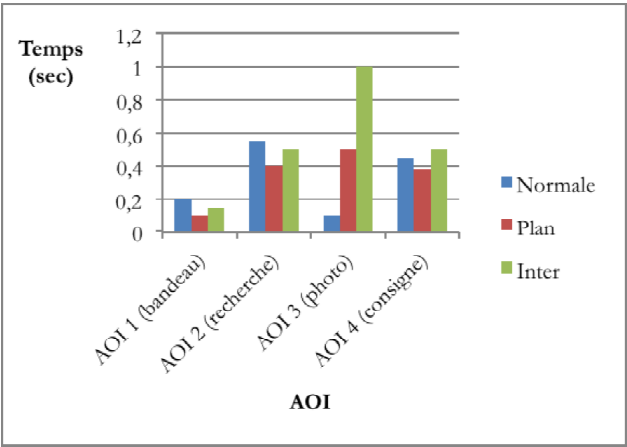
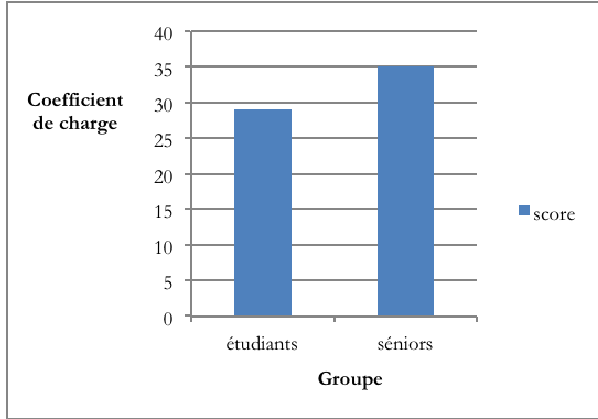


Figure 19. Indice de fixation moyen de l'interaction AOI et modalité

## 4.2 Mesures Off Line

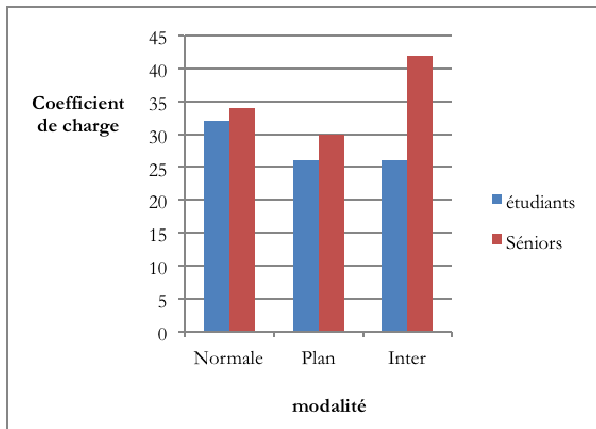
### *Mesure subjective de la charge mentale*

L'ANOVA à 2 facteurs (âge et modalité) montre un effet significatif de l'âge  $F(1,51)=8.11$ ,  $p<.01$ . Le coefficient de charge cognitive est plus élevé chez les seniors (35) que pour les étudiants (29). L'analyse du score dans chaque modalité ne montre pas d'effet significatif ( $F(2,51)=2.08$ ,  $p=.13$ ). La figure 20 présente le score de la charge mentale selon l'âge.



**Figure 20.** *Évaluation de la charge mentale selon l'âge*

L'ANOVA indique un effet significatif de l'interaction des facteurs (âge et modalité) ( $F(2,51)=4.47$ ,  $p<.01$ ). Ce résultat montre que les seniors ont une charge mentale plus importante que les étudiants pour chaque modalité. On observe également que la modalité plan entraîne une charge moins élevée pour les deux groupes (étudiants et seniors). La figure 21 indique le score de la charge mentale de l'interaction (âge et modalité).



**Figure 21.** *Évaluation de la charge mentale de l'interaction (âge et modalité)*

▪ **Test MMSE**

Au test du MMSE (Tableau 2), vingt-huit participants âgés ayant bénéficié de 9 à 12 ans de scolarité ont obtenu un score supérieur ou égal à 26. Onze participants âgés bénéficiant de 9 à 12 ans de scolarité ont eu un score inférieur à 26. Nous avons uniquement analysé les résultats des participants présentant un score dans les limites de la normalité (supérieur ou égal à 26). Nous avons préféré exclure ceux dont le score était inférieur ou égal à 26, risquant de présenter une démence plus ou moins faible.

Séniors	9 à 12 ans Scolarité
Score ≥ 26	28
Score < 26	11

**Tableau 2.** *Test MMSE*

▪ **Test MILL - HILL (adaptation en français de la forme à choix multiples par Deltour, 1993)**

Au test de vocabulaire MILL - HILL (tableau 3), échelle de vocabulaire (version crayon papier) destiné à mesurer les aptitudes verbales comprenant une série de 34 mots, les participants âgés bénéficiaient de 9 à 18 ans de scolarité et ont obtenu une moyenne de 26,40. Le score indique le niveau actuel des participants, mais ne témoigne pas nécessairement du meilleur niveau auquel ils soient parvenus, ou qu'ils pourraient atteindre dans le futur.

Séniors	9 à 18 ans Scolarité
Score moyen /34	26,40

**Tableau 3.** *Test MILL – HILL*

**5 Bilan et nouvelles perspectives de recherche**

Le but de cette étude était de tester un dispositif de prévisualisation qui optimise la recherche d'information. Nous avons émis les hypothèses selon lesquelles la modalité plan réduirait le temps de recherche quel que soit l'âge des participants, et que la prévisualisation des données permettrait de trouver plus rapidement l'information et allégerait la charge cognitive en mémoire de travail. Les résultats obtenus vont dans le sens de ces hypothèses. L'enregistrement des mouvements oculaires nous a permis d'examiner des différences de traitement entre chaque groupe (étudiants *vs* séniors). Les analyses ont montré des effets significatifs concernant le temps de recherche, suggérant que les séniors ont passé davantage de temps que les étudiants à explorer les réponses possibles. Ces résultats concordent

avec la littérature sur le vieillissement indiquant que les seniors ont des comportements différents par rapport à une population jeune. Les recherches conduites sur la cognition (mémoire, résolution de problèmes, raisonnement) ont permis de découvrir qu'entre 20 et 70 ans, l'efficacité du système cognitif peut diminuer jusqu'à 40% (Craik & Salthouse, 2000). À l'inverse des étudiants qui présentent une tendance à trouver assez vite l'information, les seniors éprouvent, en revanche, plus de difficultés à la repérer et mettent un temps plus long à la localiser. Plusieurs explications peuvent être avancées. Les limites de la capacité de la mémoire de travail peuvent être rapidement saturées par le nombre d'éléments à retenir durant la recherche (items de recherche, pages visitées, position dans la modalité de recherche...), entraînant ainsi une vitesse de traitement réduite de l'information. Selon Salthouse (1991), les mécanismes par lesquels le ralentissement cognitif engendre une diminution des performances cognitives avec l'âge permettent d'expliquer cette diminution dans le stockage des informations en mémoire de travail. Il en résulte une baisse des performances en résolution de problèmes et des stratégies de recherche moins efficaces. Ceci peut conduire le participant à se créer une représentation du problème de moins bonne qualité. D'autres facteurs, autres que cognitifs peuvent aussi intervenir. Les seniors ont une attitude plus négative vis-à-vis des nouvelles technologies (Czaja & Sharit, 1998) et ont tendance à sous-estimer leurs connaissances vis-à-vis des ordinateurs. Des études rapportent qu'ils ont une anxiété plus forte vis à vis de l'utilisation d'internet et un sentiment d'auto-efficacité plus faible que les jeunes (Ellis & Allaire, 1999 ; Marquiez & Huet, 2000 ; Marquié, Jourdan-Boddaert & Huet, 2002). Les raisons courantes avancées sont, pour la plupart, le manque de compétence, le manque de connaissances, le manque d'intérêt, et les préoccupations concernant la sécurité de l'information. L'étude de l'effet de la modalité de recherche montre une diminution significative du temps de recherche en faveur de la modalité plan. Les résultats montrent que l'indice de fixation dans la modalité plan est plus réduit que dans les deux autres modalités. On peut donc supposer que le participant opère un traitement différent selon la modalité présentée. Dans la modalité normale, il procède par « essais/erreurs » et effectue des retours en arrière sur des pages déjà visitées (Tricot, 1993), ce qui va gêner tant le processus de recherche d'information que celui de compréhension et, de surcroît, entraîner un temps de recherche plus long et un maintien en mémoire de travail de la cible pendant un temps plus long. Il en résulte qu'il déconstruit à chaque fois la représentation qu'il a du but dès lors que le résultat de sa recherche ne correspond pas ou plus à son objectif de recherche. Tandis que dans la modalité plan, en survolant les liens proposés, il procède par essai mais avec pour chaque lien, une prévisualisation réduite des pages visitées. Il se pourrait qu'il construise lui-même le sens de la représentation du but en visualisant directement les contenus d'information dans chaque escamot. En cherchant à obtenir une représentation cohérente avec ce qu'il sait de la question, il traiterait ainsi les informations à des niveaux de profondeur différents selon la sélection ou l'orientation qu'il concède à ses objectifs de recherche. La condition plan contribue à améliorer le traitement cognitif du participant. Elle lui permet d'effectuer sa recherche plus rapidement, dans la mesure où la distance entre la représentation qu'il a du but et du but à atteindre se trouve réduite. Il n'aurait pas à intégrer toutes les étapes ou tous les chemins intermédiaires pour parvenir au but de sa recherche. Cette réduction de la distance lui permettrait d'affiner davantage sa représentation du but à atteindre, notamment lorsque le contenu de la question comprend un nombre élevé de caractéristiques de recherche. La condition plan contribue à alléger les ressources cognitives en mémoire de travail. Au cours de sa recherche, le

participant est contraint de porter son attention sur un grand nombre d'éléments pour juger de la pertinence d'un élément par rapport à un autre. Il doit rechercher des éléments précis et pertinents pour répondre à la question posée. Il doit donc « désactiver » sa représentation de l'objectif de manière temporaire à chaque fois qu'il effectue une comparaison avec d'autres informations et la réactiver dès lors que les éléments ne correspondent pas ou plus à la question posée. Il se peut que la comparaison « éléments pertinents / éléments non pertinents » nécessite un traitement plus approfondi car à chaque fois, il doit mettre ceux-ci en adéquation avec sa représentation du but. Ce qui entraîne ainsi une charge importante dans la mémoire de travail. Le fait de pouvoir accéder à une prévisualisation des pages (zone de navigation à la demande) peut donc sans doute alléger ce mécanisme de comparaison entre le but de la recherche et les informations présentées. A noter que contrairement à l'étude qui compare l'accès à une information depuis une page d'accueil ou depuis le plan d'un site (Caro, 2007), aucun effet facilitateur de l'accès depuis le plan du site seul (modalité inter) n'est observé.

Dans ce travail, nous avons voulu mettre en évidence et utiliser l'enregistrement du mouvement des yeux pour analyser le parcours oculaire des utilisateurs sur des pages web. Nous nous sommes intéressés aux zones d'intérêts qui étaient privilégiées par le participant dans une tâche de recherche de logement. Nous avons pu ainsi observer qu'il n'y avait pas un parcours idéal ou typique mais que l'intérêt des participants était orienté vers les zones visuellement pertinentes où l'extraction de l'information était possible. A travers les pages analysées, ce sont les zones les plus informatives qui sollicitent davantage le regard avec une répartition relativement équilibrée entre les AOI 2, 3 et 4. L'exploration de ces pages est subordonnée à la densité des informations présentes. L'analyse des explorations de ces pages révèle des informations intéressantes quant aux éléments ayant attiré l'attention des internautes. Les zones les plus explorées correspondent aux éléments de réponses recherchés par les participants AOI 2 (zone d'intérêt où apparaît le descriptif du logement), AOI 3 (zone d'intérêt représentée par une photographie du logement), AOI 4 (zone d'intérêt correspondant à la consigne) alors que l'AOI 1 (bandeau) est très peu consultée. L'analyse par zone d'intérêt révèle des différences de durées de fixation entre chaque modalité. Par exemple, dans l'AOI 2 (zone de recherche), le temps d'exploration est un bon révélateur du traitement cognitif des pages web. Pour la tâche assignée, on observe que l'indice de fixation est plus réduit dans la condition plan. Tandis qu'une augmentation de l'indice de fixation dans les deux autres modalités révèle une difficulté à sélectionner, ou alors une difficulté à prendre une décision chez le participant.

D'autres expériences sont envisagées pour tester ce dispositif sur de nouvelles formes d'ordinateur dont la caractéristique principale est la taille réduite de l'écran. Les systèmes interactifs tactiles se sont largement répandus ces dernières années, notamment par la démocratisation des smartphones et plus récemment des tablettes tactiles. C'est donc un dispositif intéressant qu'il convient de tester sur une tablette tactile puisqu'il permet d'afficher les zones de navigation seulement si cela est nécessaire et de les rendre disponible à l'écran (affichage à la demande). L'écran réduit peut ainsi être entièrement dévolu à l'affichage du contenu et non à la zone de navigation.

## 6 Conclusion

Rechercher une information sur un site web est une activité complexe. Cette activité, pourtant courante, draine avec elle une foule de problématiques qui



mobilisent tant les théories issues de la psychologie cognitive, des apprentissages ou l'analyse des usages, que de l'ergonomie des IHM. Notre posture de recherche a sans doute le mérite d'admettre la complexité et la richesse des expérimentations. Notre problématique de recherche invite, en effet, à ne pas seulement décrire des comportements et les interpréter, mais à rendre compte des effets d'un système qui change les logiques de navigation et qui nourrit la réflexion sur les technologies numériques et leurs usages. Tout d'abord parce que cela nous oblige à reconsidérer les postulats qui nous ont permis jusqu'à présent de comprendre nos rapports aux supports et aux dispositifs de représentation tout au long de leur histoire. Les bouleversements générés par le numérique et notamment ses effets cognitifs, dont on commence seulement à entrevoir l'importance, conduisent tout naturellement à questionner la nature des espaces numériques et leurs modes d'exploration navigationnelle.

## **Bibliographie**

- Amadiou, F., van Gog, T., Paas, F., Tricot, A. & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and conceptual map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning & Instruction*, 19, 376-386.
- Baccino, T. (2004). *La lecture électronique*. Grenoble : Presses universitaires de Grenoble.
- Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Bernard, M. (1999). Sitemaps design : alphabetical or categorical?, Usability News. [http:// psychology.wichita.edu/surl/usability\\_news/1s/sitemap.htm](http://psychology.wichita.edu/surl/usability_news/1s/sitemap.htm)
- Caro, S. & Bisseret, A. (1997). Étude expérimentale de l'usage des organisateurs paralinguistiques de mise en retrait dans des documents électroniques. *Le travail humain*, 60, 4, 409-437.
- Caro, S. & Bétrancourt, M. (1998). Ergonomie de la présentation des textes sur écran : guide pratique. In : Tricot, A. & Rouet, J.-F. (dir.) *Hypertextes et Hypermédias. Concevoir et utiliser les hypermédias : approches cognitives et ergonomiques*. Paris : Hermès. pp.123-137.
- Caro, S. & Bétrancourt, M. (2001). Ergonomie des documents numériques. *Traité Informatique*, H7 220, Techniques pour l'Ingénieur (TPI) : Paris.
- Caro, S. (2007) L'écriture des documents numériques : approche ergonomique. Série Sciences de l'Information et de la Communication, Collection Ingénierie Représentationnelle et Construction de Sens dirigée par Sylvie Leleu-Merviel, 2007, Hermès Lavoisier, Paris, 202 p.
- Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive*. Paris : A. Colin.
- Conklin, J. (1987). Hypertext: an introduction and survey. In *IEEE Computer, September*, pp. 17-41.
- Craft, B & Cairns, P. (2005). Beyond Guidelines: What Can We Learn from the Visual Information Seeking Mantra? *Proceedings of the Ninth International Conference on Information Visualization 2005 (IV05)*, p. 110-118, 2005.
- Craik, F.I.M. & Salthouse, T.A. (2000). *The Handbook of Aging and Cognition* (2<sup>nd</sup>ed.) Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Czaja, S. J. & Sharit, J. (1998). Age difference in attitudes toward computers. *Journal of Gerontology: Psychological Sciences*, 53, 329-340.
- Djouani, M., Caro, S., Boucheix, J.-M. & Bugaiska, A. (2011). Recherche d'information dans les documents numériques : vers une variation des modalités d'exécution procédurale. In *Proceedings of Conférence en Recherche d'Informations et Applications - CORLA 2011, 8th French Information Retrieval Conference*, Gabriella Pasi, Patrice Bellot (Eds.), Éditions Universitaires d'Avignon, Avignon, p. 255-270.
- Ellis, R. D. & Allaire, J. C. (1999). Modeling computer interest in older adults : The role of age, education, computer knowledge, and computer anxiety. *Human Factors*, 41(3), 345-355.
- Folstein, M.F., Folstein, S.E. & McHugh, P.R. (1975). Mini-mental state: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician, *Journal of Psychiatric Research*, 12,189-198.
- Freudenthal, D. (2001). Age differences in the performance of information retrieval tasks. *Behaviour Information Technology*, 20(1), 9-22.
- Goldberg, J.H. & Kotval, X.P. (1999). Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24, 631-645.
- Kicka, M., Chevalier, A. & Léger, L. (2005). Stratégies d'exploration et de sélection des liens hypertextuels dans un portail web : effet de la mise en page des liens et de la présence d'illustrations. Communication présentée à la 11ème JETCSIC, Nice, France, Juin.
- Lecolinet, E. & Pook, S. (2002). Techniques focus + contexte pour la navigation interactive dans les bases de données. Lavoisier, *Les Cahiers du numérique* 2002/3 - Vol. 3 pages 191 à 210.
- Maincent, A. (2001). Le NASA TLX, traduit en français et adapté pour le Laboratoire d'Etudes et d'Analyses de la Cognition et des Modèles, Lyon.
- Marquié, J.-C., Jourdan, L. & Huet, N. (2002). Do older adults underestimate their actual computer knowledge ? *Behaviour and Information Technology*, 21, 273-280.
- Marquie, J. C. & Huet, N. (2000). Age differences in feeling - of - knowing and confidence judgments as a function of knowledge domain. *Psychology and Aging*, 15(3), 451-461.
- Miller, G.A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Pook, S., Lecolinet, E., Vaysseix, G. & Barillot, E. (2000). Control menus! Execution and control in a single interactor. CHI 2000.
- Rouet, J.-F. & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte : vers un modèle des processus cognitifs. *Hypertextes et Hypermédias*, n° hors-série, 57-74.
- Rouet, J.F, Coutelet, B. & Dinet, J. (2004). La recherche d'informations dans les docs complexes : processus cognitifs, apprentissage et développement. *Jetsic*, 2004, Genève.

- Rouet, J.-F., Ros., C., Jégou, G. & Metta, S. (2004). Chercher des informations dans les menus Web : interaction entre tâche, type de menu et variables individuelles. *Le Travail Humain*, 67, 379-397.
- Salthouse, T. A. & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, 27(5), 763-776.
- Shneiderman, B & Plaisant, C. (2005). Designing the user interface, Pearson Education, Inc.
- Strahm, M. & Baccino, T. (2003). L'intermodalité dans la lecture de documents électroniques : investigations oculométriques, in C. Faure (Ed), *Le document électronique*. Paris : Europia.
- Sweller, J. (1999). Instructional design in technical areas, *Australian Education Review*, 43.
- Tricot, A. (1993). Stratégies de navigation et stratégies d'apprentissage : pour l'approche expérimentale d'un problème cognitif. In G.L. Baron, J. Baudé & B. de La Passardière (Eds.), *Hypermédiats et Apprentissages 2*. (pp. 21-38). Paris : Presses de l'INRP / EPI.